

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБ ИЗ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Бушueva Н.И., Логинov Ю.Н.

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н.

Ельцина, Екатеринбург, Россия

buschuevan2013@yandex.ru j.n.loginov@urfu.ru

Аннотация. В работе выполнено математическое моделирование процесса бунтового волочения труб из стали 12X18H10T в программном комплексе DEFORM с целью прогнозирования возможности реализации технологии изготовления длинномерных труб в бунтах для применения в криогенной промышленности. По результатам моделирования оценена полученная геометрия трубы. Было установлено, что учёт всех компонент тензора деформации оказывает существенное влияние на механические свойства труб, оценена величина овализации трубы в процессе намотки трубы на барабан.

Ключевые слова черная металлургия, аустенитные стали, обработка металлов давлением, криогенная промышленность, нержавеющие стали, бунтовое волочение, безоправочное волочение

MATHEMATICAL MODELING COLD DEFORMATION OF CHROMIUM- NICKEL STEELS PIPES

Bushueva N.I., Loginov Y.N.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin»,

Ekaterinburg, Russia

Abstract. The paper presents a mathematical modeling technology of coil drawing of pipes made of 12X18H10T steel in the DEFORM software package to predict the implementing possibility the technology of manufacturing long pipes in bunts for use in the cryogenic industry. The obtained pipe geometry is estimated based on the simulation results. It was found that considering all the components of the strain tensor have a significant impact on the pipe's mechanical properties, the value of the pipe ovalization in the process of winding the pipe on the drum was estimated.

Keywords ferrous metallurgy, austenitic steels, metal forming, cryogenic industry, stainless steels, coil drawing, tube sinking

В настоящее время в связи со стремительно развивающейся тенденцией цифровизации производства использование математического моделирования

технологических процессов обработки металлов давлением имеет широкую сферу использования.

Применение математического моделирования в решении инженерных задач позволяет спрогнозировать возможность реализации технологических процессов обработки металлов давлением, в частности, позволяет выявить и предотвратить возможные недоработки и ошибки, скорректировать конфигурацию рабочих инструментов, составить корректные технологические маршруты производства.

Моделирование также позволяет прогнозировать возможность возникновения и влияние различных фазовых превращений на свойства стали. Так, в работе [1] произведено математическое моделирование процесса холодного безоправочного волочения труб из аустенитной стали с целью прогнозирования развития мартенситного превращения и его влияния на свойства в зависимости от толщины стенки трубы. Последними исследованиями установлено, что холодное мартенситное превращение в аустенитных сталях происходит под влиянием напряженного состояния, характеризующимся инвариантами тензора напряжений [2,3].

Данная работа посвящена моделированию технологии производства труб в бунтах из нержавеющей аустенитной стали с целью анализа напряженно – деформированного состояния трубы в ходе процесса безоправочного волочения и намотки трубы на барабан.

На первом этапе реализации было выполнено математическое моделирование процесса холодного безоправочного волочения труб из нержавеющей аустенитной хромоникелевой стали 12X18H10T. Моделирование произведено в программном комплексе DEFORM–2D с использованием метода конечных элементов.

Для постановки задачи были использованы следующие параметры: исходный размер трубы – 14x0,9; линейная скорость движения трубы – 170 мм/с; коэффициент трения по Зибелю – 0,08; угол наклона волокна α_b – 13°. Длина калибрующей зоны волокна $l_{п.в}$ – 2,2 мм; тип задачи – упруго - пластическая. В качестве аналога стали 12X18H10T выбрана сталь – AISI 321 COLD. В соответствии с сортаментом ГОСТ на данную продукцию [4] необходимо было получить трубу размером 10x1 мм. Количество элементов сетки – 10000.

На рисунке 1 представлена исходная постановка задачи в программном комплексе DEFORM 2D. Используется цилиндрическая система координат с горизонтальным расположением осевой координаты.

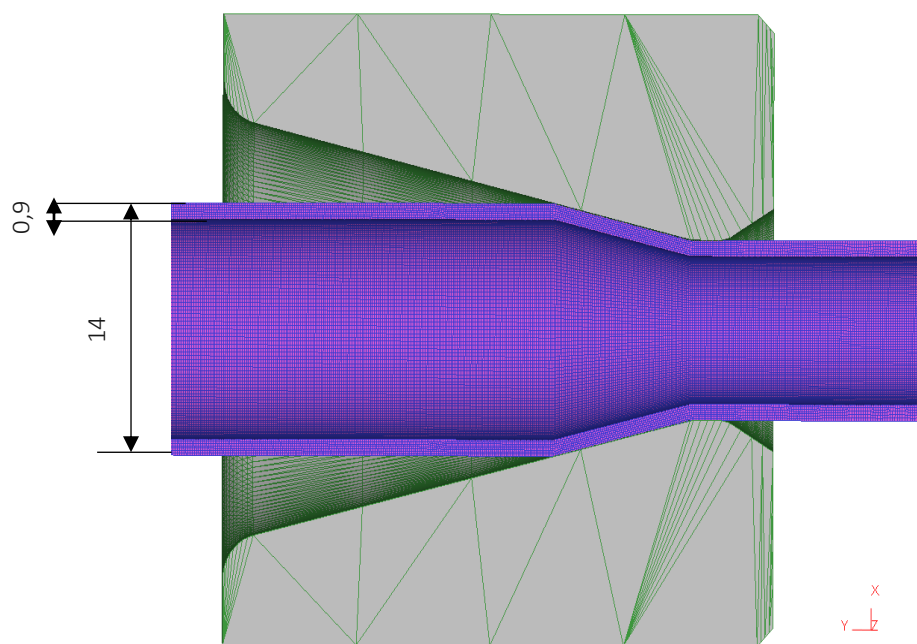


Рисунок 1 – Исходная геометрия для постановки задачи безправочного волочения с размерами исходной заготовки

Поскольку в работе рассматривается процесс безправочного волочения, важно учитывать, что внутренний диаметр трубы в ходе деформации не контролируется. Ввиду этого, особенно важно рассчитать внутренний и внешний диаметр трубы после пластической деформации и сопоставить полученные данные с допустимыми отклонениями размеров.

В результате проведенного анализа данных, полученных из математической модели, были установлены следующие конечные размеры полученной трубы: 9,73x0,92 мм.

Здесь было выявлено, что после пластической деформации в волоке изменяются упруго размеры трубы, что ставит под сомнение выполнение требований стандарта, указано на необходимость компенсации изменения размеров увеличением диаметра волокна. Все же полученный результат соответствует обычному качеству согласно величинам допустимых отклонений по ГОСТ-9941-81 [4].

В ходе моделирования был выполнен анализ напряженно - деформированного состояния материала в ходе процесса пластической деформации. В частности, было проанализировано распределение степени деформации по сечению стенки трубы в соответствии с формулой [6]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_R - \varepsilon_\varphi)^2 + (\varepsilon_\varphi - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_R)^2 + \left(\frac{3}{2}\varepsilon_{Rz}^2\right)},$$

где ε_R , ε_φ , ε_z , ε_{Rz} – компоненты тензора деформации по соответствующим направлениям.

На рисунке 2 представлено продольное сечение очага деформации с цветовыми уровнями, характеризующими распределение степени деформации. Отображена сетка конечных элементов. Виден темп накопления деформации вдоль траектории перемещения элементарной частицы.

На рисунке 3 представлена эпюра распределения степени деформации по толщине стенки трубы (после прохождения зоны пластической деформации).

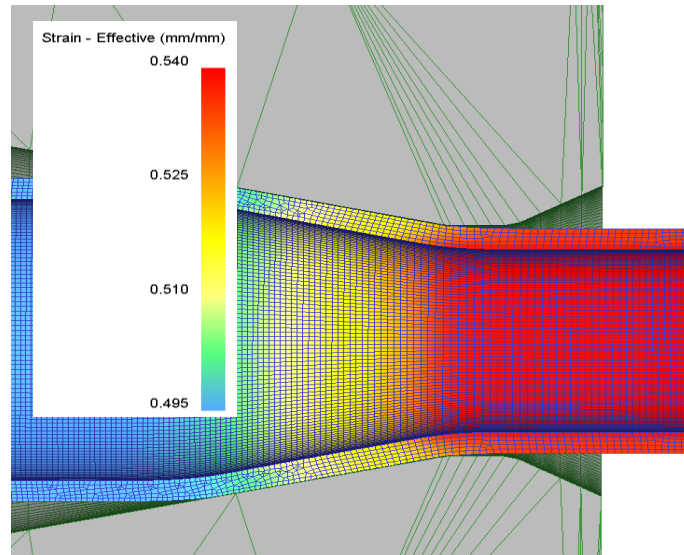


Рисунок 2 – Цветные уровни распределения степени деформации (strain effective)

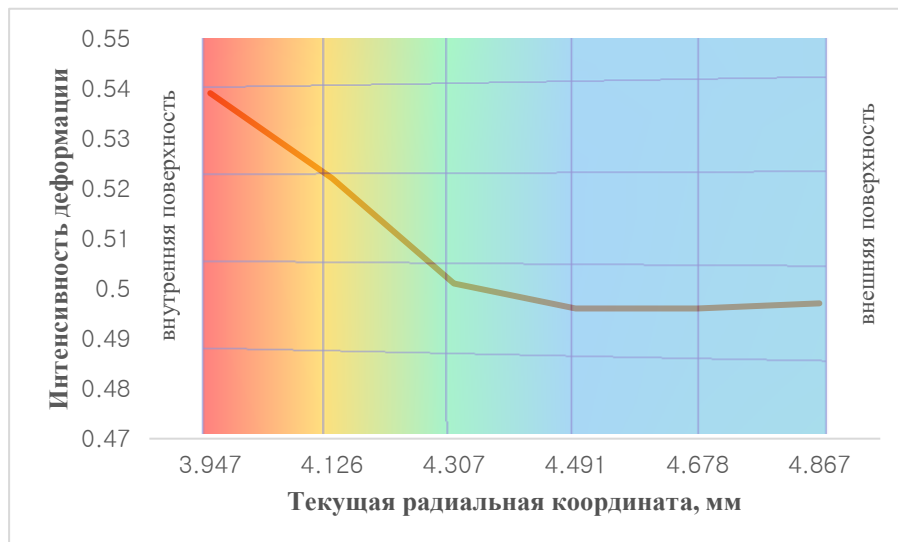


Рисунок 3 – Распределение степени деформации по толщине стенки трубы

Из представленного на рисунке 3 графика видно, что деформации локализованы вблизи внутренней поверхности стенки трубы. К середине сечения величина деформации уменьшается и при дальнейшем перемещении вдоль радиальной координаты остается практически постоянной. Известно, что мартенсита выделяется тем больше, чем больше степень деформации [3, 5]. Если проецировать эту ситуацию на эффект фазового мартенситного превращения, то

получается, что наибольшего количества мартенсита следует ожидать со стороны внутренней поверхности трубы.

В ходе анализа результатов моделирования было установлено, что деформация по толщине стенки трубы распределена неравномерно. Таким образом, важно отметить, что учёт всех компонент тензора деформации оказывает существенное влияние на величину упрочнения материала, что в свою очередь скажется на его дальнейших механических и эксплуатационных свойствах. Это означает, что расчет значения относительной деформации в процессе проектирования технологического маршрута по аналитической формуле, определяемой путем измерения площадей поперечного сечения заготовки и полученного конечного материала и дальнейшего вычисления коэффициента вытяжки не является рациональным, поскольку не учитывает распределение компонент тензора деформации.

Следующим этапом реализации моделирования технологии бунтового волочения являлась постановка задачи процесса намотки трубы на барабан в программном модуле DEFORM-3D. Переход к более сложной 3D постановке обусловлен тем, что при навивке на барабан задача перестает быть осесимметричной. На рисунке 4 представлена геометрия инструмента, используемая для постановки задачи.

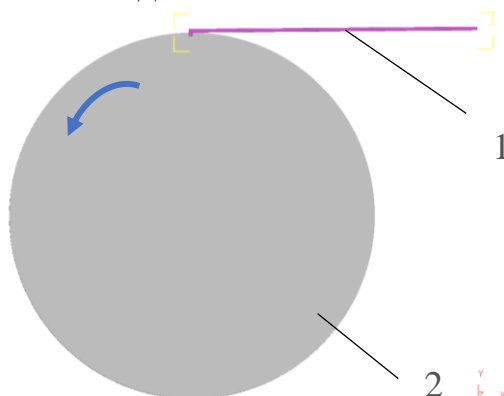


Рисунок 4 – Исходная геометрия постановки задачи моделирования намотки трубы на барабан: 1 – заготовка (труба); 2 – барабан. Стрелкой показано направление вращения барабана

Конечный размер трубы здесь также составляет 10x1 мм, барабан имеет диаметр 1000 мм. Скорость вращения барабана 1,6 мм/с; задан коэффициент трения по Кулону 0,12. В качестве аналога стали 12X18H10T выбрана сталь – AISI 321 COLD. Тип задачи – упруго - пластический.

В ходе моделирования было установлено, что напряженное состояние в данном процессе постоянно по длине трубы и с изменением угла поворота

барабана неизменно. Кроме того, по результатам моделирования было установлено, что оваллизация трубы не превышает 0,01 мм, что является незначительной величиной для конечной геометрии трубы. Также было установлено, что коэффициент запаса прочности при волочении больше единицы ($K_3=1,18$), то есть условие прочности переднего конца заготовки выполняется

Библиографический список

1. Loginov Yu.N. To the forecast of martensitic transformation development during sink drawing of austenitic steel pipes / Yu.N. Loginov, G.V. Shimov N.I. Bushueva // *Chernye Metally*, 2021 (4). P. 25 – 31
2. Beese A. M., Mohr D. Effect of stress triaxiality and Lode angle on the kinetics of strain-induced austenite-to-martensite transformation / A.M. Beese, D. Mohr // *Acta Materialia*, 2011. Vol. 59. P. 2589–2600.
3. Maltseva L.A., Loginov Y.N., Maltseva T.V., Sharapova V.A. Effect of the state of stress on the strain-induced martensite formation in 03Kh14N11K5M2YuT steel / L.A. Maltseva. Y.N. Loginov, T.V. Maltseva // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2013. V.9. P. 706-711.
4. ГОСТ 9941-81 «Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия»
5. Lo K.H., Shek C.H., Lai J.K.L. Recent developments in stainless steels / K.H. Lo, C.H. Shek, J.K.L. Lai // *Materials Science and Engineering R*, 2009. V. 65. P. 39–104.
6. Зильберг Ю. В. Теория обработки металлов давлением / Ю.В. Зильберг // Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2009. 434 с.